

35

PCT
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
 Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



| | | |
|---|--|--|
| (51) Internationale Patentklassifikation 7 : G03F 7/20, G02B 13/14, 13/18, 13/22 | A1 | (11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/33138 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 8. Juni 2000 (08.06.00) |
| (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP99/09235 (22) Internationales Anmeldedatum: 27. November 1999 (27.11.99) (30) Prioritätsdaten: 198 55 108.8 30. November 1998 (30.11.98) DE 198 55 157.6 30. November 1998 (30.11.98) DE 199 22 209.6 14. Mai 1999 (14.05.99) DE 199 42 281.8 4. September 1999 (04.09.99) DE (71) Anmelder (nur für AT BE CH CY DE DK ES FI FR GR IT LU MC NL PT SE): CARL ZEISS [DE/DE]; D-89518 Heidenheim (DE). (71) Anmelder (nur für GB IE JP KR): CARL ZEISS STIFTUNG trading as CARL ZEISS [DE/DE]; D-89518 Heidenheim (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHUSTER, Karl-Heinz [DE/DE]; Rechbergstrasse 24, D-89551 Königsbrunn (DE). ULRICH, Wilhelm [DE/DE]; Lederackerring 44, D-73434 Aalen (DE). | (81) Bestimmungsstaaten: JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i> | |

(54) Title: LARGE-APERTURED PROJECTION LENS WITH MINIMAL DIAPHRAGM ERROR

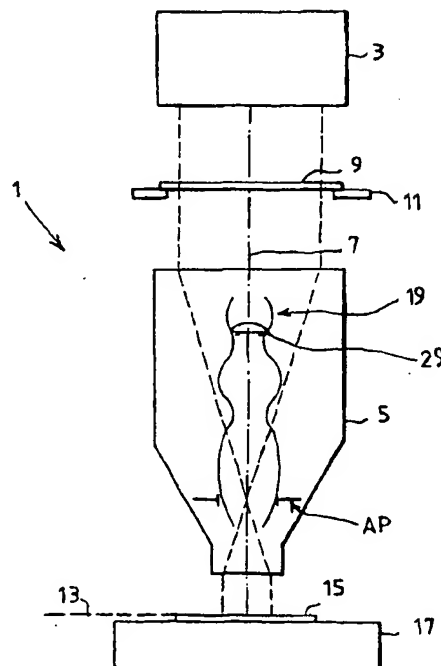
(54) Bezeichnung: HOCHAPERTURIGES PROJEKTIONSOBJEKTIV MIT MINIMALEM BLENDEFehler

(57) Abstract

The invention relates to a large-apertured microlithography projection lens (5). The diaphragm error is also systematically corrected, so that the pupil plane is slightly curved and the lens can be stopped down without compromising quality. The system diaphragm of the projection lens is located in the area of the last lens cluster of positive refractive power on the image side. The telecentrics of the projection lens remain stable on the image side during stopping down.

(57) Zusammenfassung

Bei einem hochaperturigen Projektionsobjektiv (5) der Mikrolithographie wird systematisch auch der Blendefehler korrigiert, so daß die Pupillenebene wenig gekrümmt ist und das Objektiv ohne Qualitätsverlust abblendbar ist. Bei dem Projektionsobjektiv wird die Systemblende im Bereich der bildseitig letzten Linsengruppe positiver Brechkraft angeordnet. Das Projektionsobjektiv weist bei Abblendung eine stabile bildseitige Telezentrie auf.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

| | | | | | | | |
|----|------------------------------|----|--------------------------------------|----|--|----|-----------------------------------|
| AL | Albanien | ES | Spanien | LS | Lesotho | SI | Slowenien |
| AM | Armenien | FI | Finnland | LT | Litauen | SK | Slowakei |
| AT | Österreich | FR | Frankreich | LU | Luxemburg | SN | Senegal |
| AU | Australien | GA | Gabun | LV | Lettland | SZ | Swasiland |
| AZ | Aserbaidshan | GB | Vereinigtes Königreich | MC | Monaco | TD | Tschad |
| BA | Bosnien-Herzegowina | GE | Georgien | MD | Republik Moldau | TG | Togo |
| BB | Barbados | GH | Ghana | MG | Madagaskar | TJ | Tadschikistan |
| BE | Belgien | GN | Guinea | MK | Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien | TM | Türkmenistan |
| BF | Burkina Faso | GR | Griechenland | ML | Mali | TR | Türkei |
| BG | Bulgarien | HU | Ungarn | MN | Mongolei | TT | Trinidad und Tobago |
| BJ | Benin | IE | Irland | MR | Mauretanien | UA | Ukraine |
| BR | Brasilien | IL | Israel | MW | Malawi | UG | Uganda |
| BY | Belarus | IS | Island | MX | Mexiko | US | Vereinigte Staaten von Amerika |
| CA | Kanada | IT | Italien | NE | Niger | UZ | Usbekistan |
| CF | Zentralafrikanische Republik | JP | Japan | NL | Niederlande | VN | Vietnam |
| CG | Kongo | KE | Kenia | NO | Norwegen | YU | Jugoslawien |
| CH | Schweiz | KG | Kirgisistan | NZ | Neuseeland | ZW | Zimbabwe |
| CI | Côte d'Ivoire | KP | Demokratische Volksrepublik Korea | PL | Polen | | |
| CM | Kamerun | KR | Republik Korea | PT | Portugal | | |
| CN | China | KZ | Kasachstan | RO | Rumänien | | |
| CU | Kuba | LC | St. Lucia | RU | Russische Föderation | | |
| CZ | Tschechische Republik | LI | Liechtenstein | SD | Sudan | | |
| DE | Deutschland | LK | Sri Lanka | SE | Schweden | | |
| DK | Dänemark | LR | Liberia | SG | Singapur | | |
| EE | Estland | | | | | | |

Hochaperturiges Projektionsobjektiv mit minimalem Blendenfehler

Die Erfindung betrifft ein Projektionsobjektiv der Mikrolithographie, bei dem die Systemblende im Bereich des bildseitig letzten Bauches angeordnet ist, das eine bildseitige numerische Apertur NA von über 0,65 aufweist und einen Bildfelddurchmesser von über 20mm. Derartige Objektive zeichnen sich typischerweise durch eine Auflösung von unter 0,5 Mikrometern bei geringster Verzeichnung und zumindest bildseitige Telezentrie aus.

Das gattungsgemäße mikrolithographische Reduktionsobjektiv nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 ist ein rein refraktives Hochleistungsobjektiv, wie es für die hochauflösende Mikrolithographie besonders im DUV-Wellenlängenbereich benötigt wird.

Derartige refraktive Objektive mit zwei Strahltaillen sind schon in dem Artikel von E. Glatzel "New lenses for microlithography" SPIE, Vol. 237, 310 (1980) beschrieben und seitdem ständig weiterentwickelt worden. Gattungsgemäße Objektive der Firma Carl Zeiss werden in Wafer-Steppern und Wafer-Scannern PAS der Firma ASML, Niederlande, verkauft.

Ein derartiges Objektiv der Firma Tropel aus dem Jahre 1991 ist in Figur 16 von J.H. Bruning "Optical Lithography - Thirty years and three orders of magnitude" SPIE, Vol 3049, 14-27 (1997) gezeigt. Zahlreiche Varianten gattungsgemäßer Projektionsobjektive finden sich in Patentanmeldungen, so EP 0 712 019-A (US Ser. 337 647 v. 10. Nov. 1994), EP 0 717 299-A, EP 0 721 150-A, EP 0 732 605-A, EP 0 770 895-A, EP 0 803 755-A (US 5.781.278), EP 0 828 172-A

Ähnliche Objektive mit noch etwas kleinerer numerischer Apertur finden sich auch in SU 1 659 955-A, EP 0 742 492-A (Fig. 3) US 5.105.075 (Fig. 2 und 4), US 5.260.832 (Fig. 9) und DD 299 017-A.

Die Blende liegt bei den zitierten Schriften allerdings vielfach anders, insbesondere im Bereich der zweiten Taille.

Regelmäßig ist bei den hochaperturigen Mikrolithographie-Projektionsobjektiven die Möglichkeit des Abblendens auf ca. 60 bis 80 % der maximalen bildseitigen numerischen Apertur vorgesehen.

In der erst nach den Prioritätstagen dieser Anmeldung veröffentlichten DE 199 02 236 A1 wird diese Abblendbarkeit explizit angegeben.

In dieser wie auch in der DE 198 18 444 A1 wird auch die Verwendung asphärischer Linsen vorgesehen, und zwar stets mindestens einer Asphäre im Bereich der zweiten Taille (vierte Linsengruppe).

Die Beispiele Fig 1-3 der Prioritätsanmeldung DE 198 55 108 8 zeigen eine relativ stark gekrümmte Pupillenebene mit ca. 25 mm axialem Versatz zwischen optischer Achse und Rand des Lichtbündels bei voller Öffnung. Dementsprechend sind zum Abblenden aufwändige Blendenkonstruktionen erforderlich.

Die Prioritätsanmeldungen DE 198 55 108.8, DE 198 55 157.6 und DE 199 22 209.6, DE 199 42 281.8 sind mit ihrer Offenbarung einschließlich der Ansprüche Teil der Offenbarung dieser Patentanmeldung.

Als Pupillenebene wird im Sinne dieser Patentanmeldung die gekrümmte Fläche der Pupille oder Fouriertransformierten der Bildebene verstanden, wie sie durch Abbildungsfehler der Linsenanordnung real ausgebildet ist. Der Rand der Aperturblende des Systems muß auf dieser Fläche liegen, wenn Vignettierungseffekte unterbunden sein sollen. Wird die reale Aperturblende in einer planen geometrischen Ebene enger und weiter gemacht, so gilt die Vignettierungsfreiheit näherungsweise umso besser, je weniger die Pupillenebene von einer Planfläche abweicht.

Aufgabe der Erfindung ist die Bereitsstellung gattungsgemäßer Objektive mit gut korrigierter Pupille, was ein sauberes Abblenden ohne Störeffekte mit einfachen Blendenkonstruktionen erlaubt.

Gelöst wird diese Aufgabe durch ein gattungsgemäßes Projektionsobjektiv mit den kennzeichnenden Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 3 – oder von Kombinationen davon.

Die Pupillenebene ist gemäß Anspruch 1 nur noch um höchstens 20 mm, vorzugsweise aber um weniger als 15 mm durchgebogen.

Die bildseitige Telezentrie wird gemäß Anspruch 2 auch bei Abblendung auf das 0,8 fache der nominellen (maximalen) bildseitigen numerischen Apertur sehr gut stabil gehalten, gemessen am geometrischen Schwerstrahl liegt sie unter ± 4 mrad.

Da die Bildfeldwölbung des vorderen bzw hinteren Objektivteils alleine nicht exakt korrigiert werden kann (jedenfalls nicht mit vertretbarem Aufwand, da das nur über die Brechkraftverteilung zu beeinflussen ist) wird der Bildfehlerkompromiss in der Blendenebene so gewählt, dass die Bildfeldwölbung zumindest in der für die Blendenkonstruktion relevanten tangentialen Abbildung teilweise durch Astigmatismus (der über gezielte Linsendurchbiegung bei unveränderter Brechkraft eingestellt werden kann) kompensiert wird.

Aus der Sicht der optischen Korrektion des Objektivs ist gemäß Anspruch 3 die tangentiale Bildschale der Pupillenabbildung im Blendenraum auf unter 20 mm korrigiert.

Es wird also im Bildfehlerkompromiss des Objektivs auch explizit die Ausbildung der Pupillenebene berücksichtigt.

Im Raum hinter der Pupillenebene wird bei gattungsgemäßen Projektionsobjektiven zur Korrektur der sphärischen Aberration eine Negativlinse benötigt.

Gemäß Anspruch 4 wird nun die erfindungsgemäße Pupillenkorrektur bei Vorhandensein eines pupillenseitig konkaven Meniskus erreicht, was eine gute Korrektur aller Abbildungsfehler erlaubt. Je flacher der zerstreuende bildseitige Radius der Negativlinse, desto günstiger ist dies für die Pupillenkorrektur.

Anspruch 5 zeigt die bevorzugte Blendenlage klar weg von der zweiten Taille und gibt auch einen wesentlichen Unterschied zur DE 199 02 336 A1 und zu anderen Schriften aus dem Stand der Technik.

Die Strahlumlenkung in diesem Bereich des dritten Bauchs mit vielen schwachen Positivlinsen ergibt minimierte sphärische Unterkorrektur und erlaubt so schwache Negativlinsen, was wiederum die Korrektur der Pupillenebene entspannt. Insgesamt wird die Variation der Bildfehler beim Abblenden oder bei verschiedenen Beleuchtungssettings durch diese Maßnahme verringert.

Der laut Anspruch 6 vorteilhafterweise vorgesehene sphärisch überkorrigierende Luftraum, dessen Mittendicke größer als die Randdicke ist, läßt sich vorteilhaft in der Nachbarschaft des negativen Meniskus nach Anspruch 4 anordnen.

Anspruch 7 gibt die Erkenntnis wieder, daß eine asphärische Linse mit Vorteil im Bereich vor der ersten Taille angeordnet wird. Asphären im Bereich der zweiten Taille werden dann gemäß Anspruch 8 entbehrlich, während sie im Stand der Technik nach DE 199 02 336 A1 und DE 198 18 444 A1 gerade dort bevorzugt anzuordnen sind.

Anspruch 9 sieht die Materialwahl der Linsen aus Quarzglas und/oder Fluoridkristallen vor, womit die Objektive für den DUV/VUV Bereich, insbesondere bei den Wellenlängen 248 nm, 193 nm und 157 nm geeignet werden. Bevorzugte Fluoridkristalle sind CaF_2 , BaF_2 , SrF_2 , NaF und LiF . Näheres hierzu findet sich in der DE 199 08 544.

Anspruch 10 sieht es als vorteilhaft vor, daß das erfindungsgemäße Projektionsobjektiv wie in den Ausführungsbeispielen zwei Taillen und drei Bäuche aufweist. Dies erlaubt eine sehr gute Petzval-Korrektur bei anspruchsvollen Werten von Apertur und Feld.

Die Ansprüche 11 und 12 betreffen eine Projektionsbelichtungsanlage mit einem erfindungsgemäßen Objektiv und ein mikrolithographisches Herstellverfahren damit.

Anspruch 13 gibt besonders die erfindungsgemäß optimierte Möglichkeit der Anwendung von Belichtungen mit verschiedenen Beleuchtungsarten und / oder numerischer Apertur wieder.

Die Ansprüche können natürlich auch mit den Merkmalen aus den Ansprüchen der Prioritätsanmeldungen kombiniert werden.

Näher erläutert wird die Erfindung anhand der Ausführungsbeispiele gemäß der Zeichnung und der Tabellen.

Figur 1 zeigt qualitativ eine Projektionsbelichtungsanlage gemäß der Erfindung.

Figur 2 zeigt den Linsenschnitt eines 193 nm Quarzglas/CaF₂-Projektionsobjektivs mit $NA = 0,70$.

Figur 3 zeigt den Linsenschnitt durch eine zweite Linsenanordnung, die zwei asphärische Linsenoberflächen aufweist;

Figur 4 zeigt den Linsenschnitt durch eine dritte Linsenanordnung, die drei asphärische Oberflächen aufweist;

Figur 5a bis 5g zeigen die Darstellung der tangentialen Queraberrationen;

Figur 6a bis 6g zeigen die Darstellung der sagittalen Queraberrationen;

Figur 7a bis 7f zeigen die Darstellung des Rinnenfehlers anhand von Schnitten;

Figur 8 zeigt den Linsenschnitt durch eine vierte Linsenanordnung für 248 nm mit $NA = 0,70$.

Anhand von Figur 1 wird zunächst der prinzipielle Aufbau einer Projektionsbelichtungsanlage beschrieben. Die Projektionsbelichtungsanlage 1 weist eine Beleuchtungseinrichtung 3 und ein Projektionsobjektiv 5 auf. Das Projektionsobjektiv umfaßt eine Linsenanordnung 19 mit einer Aperturblende AP, wobei durch die Linsenanordnung 19 eine optische Achse 7 definiert wird. Zwischen Beleuchtungseinrichtung 3 und Projektionsobjektiv 5 ist eine Maske 9 angeordnet, die mittels eines Maskenhalters 11 im Strahlengang gehalten wird. Solche in der Mikrolithographie verwendeten Masken 9 weisen eine Mikrostruktur auf, die mittels des Projektionsobjektives 5 verkleinert auf eine Bildebene 13 abgebildet wird. In der Bildebene 13 wird ein durch einen Substrathalter 17 positioniertes Substrat bzw. ein Wafer 15 gehalten.

Im folgenden werden diese für gehobene Ansprüche an die Bildqualität sowie an die Auflösung ausgelegten Projektionsobjektive 5, insbesondere deren Linsenanordnung 19, näher beschrieben.

Das Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 und Tabelle 1 ist ein Projektionsobjektiv mit rein sphärischen Linsen, als Quarzglas/CaF₂ Teilachromat für 193 µm Excimer-Laser mit 0,5 µm Bandbreite. Die bildseitige NA ist 0,70, der Bildfelddurchmesser beträgt 29,1 mm.

Die Pupillenebene mit der Aperturblende AS liegt weit abgerückt von der zweiten Taille im Bereich einer Zwischeneinschnürung des dritten Bauchs. Ihre Durchbiegung beträgt 15,8 mm bei einem Lichtbündeldurchmesser von 212 mm.

Zur Bestimmung der Durchbiegung der Pupillenebene wird die tangentielle Bildschale der Pupillenabbildung im Blendenraum bestimmt, derart, dass die axiale Ablage des durch den Objektteil zwischen Bildebene und Pupillenebene erzeugten Bilds eines unter dem Aperturwinkel durch das Bildfeld tretenden Parallelstrahls gegenüber dem Bild eines achsparallelen Parallelstrahls bestimmt wird. Der für Abblendung und Vignettierung nicht erhebliche sagittale Wert beträgt hier 26,5 mm und zeigt so den eingeführten Astigmatismus.

Bei Abblendung auf NA=0,56 zeigt das Objektiv eine Telezentrieabweichung des geometrischen Schwerstrahls von 3 mrad.

Besonderer Wert wurde bei dieser Linsenanordnung auch auf kleine Durchmesser der CaF₂-Linsen gelegt, da deren Verfügbarkeit eingeschränkt ist.

Die Beispiele der Fig 3 und 4 weisen Asphären auf.

Diese asphärischen Flächen werden durch die Gleichung:

$$P(h) = \frac{\delta \cdot h^2}{1 + \sqrt{1 - (1 - EX) \cdot \delta^2 \cdot h^2}} + C_1 h^4 + \dots + C_n h^{2n-2} \quad \text{mit } \delta = 1/R$$

beschrieben, wobei P die Pfeilhöhe als Funktion des Radius h (Höhe zur optischen Achse 7) mit den in den Tabellen angegebenen asphärischen Konstanten C₁ bis C_n ist. R ist der in den Tabellen angegebene Scheitelradius.

In Figur 3 und Tab. 2 ist eine für die Wellenlänge $\lambda = 248$ nm ausgelegte Quarzglas-Linsenanordnung 19 im Schnitt gezeigt. Diese Linsenanordnung 19 mit $NA=0,75$ und Bildfelddurchmesser 27,2 mm weist zwei asphärische Linsenflächen 27, 29 auf. Die erste asphärische Linsenfläche 27 ist auf der Linse L210 bildseitig angeordnet. Es könnte auch vorgesehen sein, diese zweite asphärische Linsenoberfläche 27 auf der der Beleuchtungseinrichtung zugewandten Seite der Linse L211 anzuordnen. Die beiden Linsen L210 und L211 sind für die Aufnahme der asphärischen Linsenoberfläche 27 prädestiniert. Es kann auch vorgesehen sein, anstelle der Linsen L210 und L211 eine Meniskulinse vorzusehen, die eine asphärische Linsenoberfläche aufweist. Die zweite asphärische Linsenoberfläche 29 ist im Endbereich der ersten Linsengruppe, auf der der Beleuchtungseinrichtung 3 abgewandten Seite der Linse L205, angeordnet. Es kann auch vorgesehen sein, diese asphärische Linsenoberfläche 29 auf der darauf folgenden Linse L206 in dem Beginn der zweiten Linsengruppe anzuordnen.

Eine besonders große Wirkung erhält man bei der Anordnung der Asphären 27, 29 auf Linsenoberflächen, bei denen die auftreffenden Strahlen zur jeweiligen Oberflächennormalen einen großen Winkel einschließen. Dabei ist besonders die große Variation der Auftreffwinkel bedeutsam. In Figur 10 erreicht der Wert von $\sin i$ bei der asphärischen Linsenoberfläche 31 einen Wert bis zu 0.82. Infolgedessen haben in diesem Ausführungsbeispiel die einander zugewandten Linsenoberflächen der Linsen L210, L211 einen größeren Einfluß auf den Strahlenverlauf im Vergleich zu der jeweils anderen Linsenoberfläche der entsprechenden Linse L210, L211.

Im Bereich der zweiten Taille, Linsengruppe LG4, ist keine Asphäre vorgesehen.

Bei einer Länge von 1000 mm und einem maximalen Linsendurchmesser von 237,3 mm weist diese Linsenanordnung bei einer Wellenlänge von 248,38 nm eine numerische Apertur von 0,75 auf. Die Bildfelddiagonale beträgt 27,21 mm. Es ist eine Strukturbreite von 0,15 μm auflösbar. Die größte Abweichung von der idealen Wellenfront beträgt 13,0 m λ . Die genauen Linsendaten, bei denen diese Leistungsdaten erreicht werden, sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Die Pupillenebene schneidet die optische Achse bei AP. Ihre Durchbiegung beträgt 12,8 mm. Eine Abbildung auf $NA=0,60$ ist ohne Qualitätsverlust mit einer in der Ebene AP liegenden Blende möglich. Die Telezentrieabweichung des geometrischen Schwerstrahls beträgt dabei ca. 1.5 mrad.

Eine weitere Ausführungsform einer Linsenanordnung 19 für die Wellenlänge 248,38 nm ist in Figur 4 und Tabelle 3 gezeigt. Bei einer bildseitigen $NA=0,77$ ist der Bildfelddurchmesser 27,2mm.

Diese Linsenanordnung 19 weist drei Linsen L305, L310, L328 auf, die jeweils eine asphärische Linsenoberfläche 27, 29, 31 aufweisen. Die asphärischen Linsenoberflächen 27, 29 sind an den aus Figur 3 bekannten Positionen belassen worden. Durch die asphärische Linsenoberfläche 27 ist die Koma mittleren Ordnung für die Bildfeldzone einstellbar. Dabei sind die Rückwirkungen auf Schnitte in tangentialer Richtung sowie sagittaler Richtung gering.

Die zusätzliche dritte asphärische Linsenoberfläche 31 ist maskenseitig auf der Linse L328 angeordnet. Diese asphärische Linsenoberfläche 31 unterstützt die Komakorrektur zum Bildfelddrand hin.

Mittels dieser drei asphärischen Linsenoberflächen 27, 29, 31 wird bei einer Wellenlänge von 248,38 nm bei einer Länge von nur 1000 mm und einem maximalen Linsendurchmesser von 247,2 mm die weiter gesteigerte numerische Apertur von 0,77 und eine im gesamten Bildfeld gut auflösbare Strukturbreite von 0,14 μm erreicht. Die maximale Abweichung von der idealen Wellenfront beträgt 12,0 m λ .

Um die Durchmesser der Linsen in LG5 klein zu halten und um eine für das System vorteilhafte Petzvalsumme, die nahezu null sein sollte beizubehalten, sind die drei Linsen L312, L313, L314 in der dritten Linsengruppe LG3 vergrößert. Für die Bereitstellung des erforderlichen axialen Bauraumes für diese drei Linsen L312-L314 sind die Dicken anderer Linsen und damit die Durchmesser, insbesondere der Linsen der ersten Gruppe LG1, reduziert worden. Dies ist ein ausgezeichnete Weg, um in einem begrenzten Bauraum sehr große Bildfelder und Aperturen unterzubringen.

Die hohe Bildqualität, die durch diese Linsenanordnung erreicht wird, ist aus den Figuren 5a - 5g, Figur 6a - 6g und Figur 7a - 7f zu ersehen.

Figuren 5a - 5g geben für die Bildhöhen Y' (in mm) die meridionale Queraberration DYM an. Alle zeigen bis zu den höchsten DW' hervorragenden Verlauf.

Figuren 6a - 6g geben für die gleichen Bildhöhen die sagittalen Queraberrationen DZS als Funktion des halben Aperturwinkels DW' an.

Figuren 7a - 7f geben für die gleichen Bildhöhen den Rinnenfehler DYS an, der durchgängig nahezu null ist.

Die genauen Linsendaten sind der Tabelle 3 zu entnehmen, wobei die asphärischen Linsenoberflächen 27, 29, 31 an der gewährleistbaren hohen Bildqualität einen erheblichen Anteil haben.

Die Durchbiegung der Pupillenebene AP beträgt 14,6 mm bei voller Apertur. Die Telezentrieabweichung bei Ablendung auf $NA = 0,62$ beträgt 1,5 mrad, bestimmt wie bei den vorhergehenden Beispielen.

Eine weitere Linsenanordnung für die Wellenlänge 248 nm ist in Figur 8 und Tabelle 4 gezeigt.

Dieses Beispiel ist wiederum rein sphärisch aufgebaut. Es ist besonders darauf ausgelegt, daß die Verzeichnung und die weiteren Abbildungsfehler auch mit verschiedenen Beleuchtungsarten (verschiedener Kohärenzgrad, Ringaperturbeleuchtung, Quadrupolbeleuchtung) und bei deutlichem Ablenden minimal bleiben. Die Pupillenebene ist dabei auf eine Durchbiegung von 18,5 mm bei voller Apertur korrigiert.

Auch hier geschieht das dadurch, daß das gekrümmte Bild der Pupille durch gezielte Korrektur des Astigmatismus im Tangentialschnitt weitgehend kompensiert wurde.

Die Luftlinse zwischen den Linsen 623, 624, die Aufspaltung des negativen Meniskus in zwei Linsen 624, 625 und die von der zweiten Taille (617) deutlich durch zwei positive Linsen getrennte Lage der Pupillenebene bei AS tragen zu ihrer Ebnung bei.

Bei einem hochaperturigen Projektionsobjektiv der Mikrolithographie wird demnach der Blendenfehler systematisch korrigiert, so daß eine nur wenig gekrümmte Pupillenebene das Abblenden ohne Qualitätsverlust erlaubt.

Wie schon gesagt, sind die Ausführungsbeispiele nicht beschränkend für den Gegenstand der Erfindung.

Tabelle 1

| λ (193 nm) | | | | |
|--------------------|-----------|--------|----------------|-----------------|
| No. | r (mm) | d (mm) | Glas | H_{\max} (mm) |
| 0 | ∞ | 15,691 | | 64 |
| 21 | -154,467 | 11,998 | SiO_2 | 64 |
| | 446,437 | 12,272 | | 73 |
| 22 | -723,377 | 25,894 | SiO_2 | 74 |
| | -222,214 | ,824 | | 80 |
| 23 | 920,409 | 26,326 | SiO_2 | 89 |
| | -287,371 | ,750 | | 90 |
| 24 | 499,378 | 30,073 | SiO_2 | 94 |
| | -358,998 | ,751 | | 94 |
| 25 | 238,455 | 27,454 | SiO_2 | 90 |
| | -3670,974 | ,750 | | 89 |
| 26 | 182,368 | 13,402 | SiO_2 | 81 |
| | 115,264 | 31,874 | | 72 |
| 27 | -710,373 | 13,095 | SiO_2 | 72 |
| | -317,933 | 2,550 | | 71 |
| 28 | -412,488 | 8,415 | SiO_2 | 69 |
| | 132,829 | 32,913 | | 65 |

| | | | | |
|----|-----------|--------|------------------|-----|
| 29 | -184,651 | 11,023 | SiO ₂ | 66 |
| | 2083,916 | 28,650 | | 71 |
| 30 | -120,436 | 10,736 | SiO ₂ | 72 |
| | -629,160 | 16,486 | | 86 |
| 31 | -213,698 | 24,772 | SiO ₂ | 89 |
| | -151,953 | ,769 | | 95 |
| 32 | 11013,497 | 48,332 | SiO ₂ | 115 |
| | -202,880 | ,750 | | 118 |
| 33 | -1087,551 | 22,650 | SiO ₂ | 122 |
| | -483,179 | ,750 | | 124 |
| 34 | 1797,628 | 23,724 | SiO ₂ | 125 |
| | -1285,887 | ,751 | | 125 |
| 35 | 662,023 | 23,589 | SiO ₂ | 124 |
| | 45816,292 | ,750 | | 123 |
| 36 | 361,131 | 22,299 | SiO ₂ | 119 |
| | 953,989 | ,750 | | 117 |
| 37 | 156,499 | 49,720 | CaF ₂ | 107 |
| | 2938,462 | ,154 | | 103 |
| 38 | 377,619 | 8,428 | SiO ₂ | 94 |
| | 123,293 | 40,098 | | 80 |
| 39 | -425,236 | 10,189 | SiO ₂ | 78 |
| | ~ 413,304 | 18,201 | | 74 |
| 40 | -302,456 | 6,943 | SiO ₂ | 73 |
| | 190,182 | 46,542 | | 73 |
| 41 | -109,726 | 9,022 | SiO ₂ | 73 |
| | -1968,186 | 5,547 | | 89 |
| 42 | -768,656 | 37,334 | CaF ₂ | 90 |
| | -145,709 | ,753 | | 94 |
| 43 | 925,552 | 49,401 | CaF ₂ | 108 |
| | -193,743 | ,847 | | 109 |
| 44 | 507,720 | 22,716 | CaF ₂ | 105 |
| | -1447,522 | 21,609 | | 104 |

| WO 00/33138 | | | | PCT/EP99/09235 |
|-------------|-----------|--------|------------------|----------------|
| 45 | -250,873 | 11,263 | SiO ₂ | 104 |
| | 314,449 | 2,194 | | 105 |
| 46 | 316,810 | 28,459 | CaF ₂ | 106 |
| | -1630,246 | 4,050 | | 106 |
| AS | Blende | 15,000 | | 106 |
| 47 | 312,019 | 45,834 | CaF ₂ | 108 |
| | -355,881 | 11,447 | | 108 |
| 48 | -242,068 | 14,119 | SiO ₂ | 107 |
| | 312,165 | 4,687 | | 112 |
| 49 | 327,322 | 49,332 | SiO ₂ | 114 |
| | -372,447 | 14,727 | | 115 |
| 50 | -234,201 | 26,250 | SiO ₂ | 115 |
| | -226,616 | ,850 | | 118 |
| 51 | 203,673 | 45,914 | SiO ₂ | 113 |
| | -3565,135 | ,751 | | 111 |
| 52 | 157,993 | 29,879 | SiO ₂ | 94 |
| | 431,905 | 14,136 | | 90 |
| 53 | -1625,593 | 12,195 | SiO ₂ | 88 |
| | 230,390 | ,780 | | 76 |
| 54 | 124,286 | 66,404 | SiO ₂ | 71 |
| | 538,229 | 1,809 | | 46 |
| 55 | 778,631 | 4,962 | CaF ₂ | 45 |
| | 43,846 | 2,050 | | 34 |
| 56 | 43,315 | 23,688 | CaF ₂ | 33 |
| | 1056,655 | 2,047 | | 29 |
| P2 | ∞ | 2,000 | CaF ₂ | 27 |
| | ∞ | 12,000 | | 26 |
| IM | ∞ | | | 14 |

Bildseitige numerische Apertur 0,75 Bildfelddurchmesser 29 mm
 Linsen 37 davon CaF₂ 5

WO 00/33138

PCT/EP99/09235

chromatischer Längsfehler

CHL (500 pm) = 0,15 mm

chromatischer Querfehler

CHV (500 pm) = -0,55 mm

Tabelle 2

| m736a Linsen | RADIEN | DICKEN | GLAESER | 1/2 * Linsendurchmesser |
|-----------------|--------------|-----------|---------|-------------------------|
| | UNENDL | 16.6148 | | 60.752 |
| L201 | -140.92104 | 7.0000 | SIO2 | 61.267 |
| | -4944.48962 | 4.5190 | | 67.230 |
| L202 | -985.90855 | 16.4036 | SIO2 | 68.409 |
| | -191.79393 | .7500 | | 70.127 |
| L203 | 18376.81346 | 16.5880 | SIO2 | 73.993 |
| | -262.28779 | .7500 | | 74.969 |
| L204 | 417.82018 | 21.1310 | SIO2 | 77.129 |
| | -366.76055 | .7500 | | 77.193 |
| L205 | 185.38468 | 23.3034 | SIO2 | 74.782 |
| | -1198.61550 | .7500 | | 73.634 |
| L206 | 192.13950 | 11.8744 | SIO2 | 68.213 |
| | 101.15610 | 27.6353 | | 61.022 |
| L207 | -404.17514 | 7.0000 | SIO2 | 60.533 |
| | 129.70591 | 24.1893 | | 58.732 |
| L208 | -235.98146 | 7.0584 | SIO2 | 59.144 |
| | -203.88450 | .7500 | | 60.201 |
| L209 | -241.72595 | 7.0000 | SIO2 | 60.490 |
| | 196.25453 | 33.3115 | | 65.017 |
| L210 | -122.14995 | 7.0000 | SIO2 | 66.412 |
| | -454.65265 | A 10.8840 | | 77.783 |
| L211 | -263.01247 | 22.6024 | SIO2 | 81.685 |
| | -149.71102 | 1.6818 | | 86.708 |
| L212 | -23862.31899 | 43.2580 | SIO2 | 104.023 |
| | -166.87798 | .7500 | | 106.012 |
| L213 | 340.37670 | 44.9408 | SIO2 | 115.503 |
| | -365.50943 | .7500 | | 115.398 |
| L214 | 160.11879 | 41.8546 | SIO2 | 102.982 |
| | 4450.50491 | .7500 | | 100.763 |
| L215 | 172.51429 | 14.8261 | SIO2 | 65.869 |
| | 116.88490 | 35.9100 | | 74.187 |
| L216 | -395.46894 | 7.0000 | SIO2 | 72.771 |
| | 178.01469 | 28.0010 | | 65.083 |
| L217 | -176.03301 | 7.0000 | SIO2 | 65.613 |
| | 188.41213 | 36.7224 | | 66.293 |
| L218 | -112.43820 | 7.0059 | SIO2 | 66.917 |
| | 683.42330 | 17.1440 | | 80.240 |
| L219 | -350.01763 | 19.1569 | SIO2 | 82.329 |
| | -194.58551 | .7514 | | 87.159 |
| L220 | -8249.50149 | 35.3656 | SIO2 | 99.995 |
| | -213.88820 | .7500 | | 103.494 |
| L221 | 657.56358 | 31.3375 | SIO2 | 114.555 |
| | -428.74102 | .0000 | | 115.245 |
| | UNENDL | 2.3420 | | 116.016 |
| | BLENDE | .0000 | | 116.016 |
| L222 | 820.30582 | 27.7457 | SIO2 | 118.196 |
| | -520.84842 | 18.4284 | | 118.605 |
| L223 | 330.19055 | 37.7586 | SIO2 | 118.273 |
| | -672.92481 | 23.8692 | | 117.550 |

Tabelle 2

| | | | | |
|------|-------------|---------|------|---------|
| L224 | -233.67936 | 10.0000 | SIO2 | 116.625 |
| | -538.42627 | 10.4141 | | 117.109 |
| L225 | -340.26626 | 21.8583 | SIO2 | 116.879 |
| | -224.85666 | .7500 | | 117.492 |
| L226 | 146.87143 | 34.5675 | SIO2 | 100.303 |
| | 436.70958 | .7500 | | 97.643 |
| L227 | 135.52861 | 29.8244 | SIO2 | 86.066 |
| | 284.57463 | 18.9234 | | 79.427 |
| L228 | -7197.04545 | 11.8089 | SIO2 | 72.964 |
| | 268.01973 | .7500 | | 63.351 |
| L229 | 100.56453 | 27.8623 | SIO2 | 56.628 |
| | 43.02551 | 2.0994 | | 36.612 |
| L230 | 42.30652 | 30.9541 | SIO2 | 36.023 |
| | 262.65551 | 1.9528 | | 28.009 |
| | UNENDL | 12.0000 | | 27.482 |
| | UNENDL | | | 13.602 |

Asphärische Konstanten:

Koeffizienten der asphärischen Oberfläche 29:

$$\begin{aligned}
 EX &= -0,17337407 \cdot 10^3 \\
 C1 &= 0,15292522 \cdot 10^{-7} \\
 C2 &= 0,18756271 \cdot 10^{-11} \\
 C3 &= -0,40702661 \cdot 10^{-16} \\
 C4 &= 0,26176919 \cdot 10^{-19} \\
 C5 &= -0,36300252 \cdot 10^{-23} \\
 C6 &= 0,42405765 \cdot 10^{-27}
 \end{aligned}$$

Koeffizienten der asphärischen Oberfläche 27:

$$\begin{aligned}
 EX &= -0,36949981 \cdot 10^1 \\
 C1 &= 0,20355563 \cdot 10^{-7} \\
 C2 &= -0,22884234 \cdot 10^{-11} \\
 C3 &= -0,23852614 \cdot 10^{-16} \\
 C4 &= -0,19091022 \cdot 10^{-19} \\
 C5 &= 0,27737562 \cdot 10^{-23} \\
 C6 &= -0,29709625 \cdot 10^{-27}
 \end{aligned}$$

Tabelle 3

| Linsen | RADIEN | DICKEN | GLAESER | 1/2 * Linsendurchmesser |
|--------|---------------|---------|---------|-------------------------|
| | UNENDL | 17.8520 | | 60.958 |
| L301 | -131.57692 | 7.0000 | SIO2 | 61.490 |
| | -195.66940 | .7500 | | 64.933 |
| L302 | -254.66366 | 8.4334 | SIO2 | 65.844 |
| | -201.64480 | .7500 | | 67.386 |
| L303 | -775.55764 | 14.0058 | SIO2 | 69.629 |
| | -220.44596 | .7500 | | 70.678 |
| L304 | 569.58638 | 18.8956 | SIO2 | 72.689 |
| | -308.25184 | .7500 | | 72.876 |
| L305 | 202.68033 | 20.7802 | SIO2 | 71.232 |
| | -1120.20883 A | .7500 | | 70.282 |
| L306 | 203.03395 | 12.1137 | SIO2 | 65.974 |
| | 102.61512 | 26.3989 | | 59.566 |
| L307 | -372.05336 | 7.0000 | SIO2 | 59.203 |
| | 144.40889 | 23.3866 | | 58.326 |
| L308 | -207.93626 | 7.0303 | SIO2 | 58.790 |
| | -184.65938 | .7500 | | 59.985 |
| L309 | -201.97720 | 7.0000 | SIO2 | 60.229 |
| | 214.57715 | 33.1495 | | 65.721 |
| L310 | -121.80702 | 7.0411 | SIO2 | 67.235 |
| | -398.26353 A | 9.7571 | | 79.043 |
| L311 | -242.40314 | 22.4966 | SIO2 | 81.995 |
| | -146.76339 | .7553 | | 87.352 |
| L312 | -2729.19964 | 45.3237 | SIO2 | 104.995 |
| | -158.37001 | .7762 | | 107.211 |
| L313 | 356.37642 | 52.1448 | SIO2 | 118.570 |
| | -341.95165 | 1.1921 | | 118.519 |
| L314 | 159.83842 | 44.6278 | SIO2 | 105.627 |
| | 2234.73586 | .7698 | | 102.722 |
| L315 | 172.14697 | 16.8360 | SIO2 | 88.037 |
| | 119.53455 | 36.6804 | | 75.565 |
| L316 | -392.62196 | 7.0000 | SIO2 | 74.246 |
| | 171.18767 | 29.4986 | | 67.272 |
| L317 | -176.75022 | 7.0000 | SIO2 | 66.843 |
| | 186.50720 | 38.4360 | | 67.938 |
| L318 | -113.94008 | 7.0213 | SIO2 | 68.650 |
| | 893.30270 | 17.7406 | | 82.870 |
| L319 | -327.77804 | 18.9809 | SIO2 | 85.090 |
| | -192.72640 | .7513 | | 89.918 |
| L320 | -3571.89972 | 34.3608 | SIO2 | 103.882 |
| | -209.35555 | .7500 | | 106.573 |
| L321 | 676.38083 | 32.6220 | SIO2 | 119.191 |
| | -449.16650 | .0000 | | 115.960 |
| | UNENDL | 2.8420 | | 120.991 |
| | ELENDE | .0000 | | 120.991 |
| L322 | 771.53843 | 30.6490 | SIO2 | 123.568 |
| | -525.59771 | 13.4504 | | 124.005 |
| L323 | 330.53202 | 40.0766 | SIO2 | 123.477 |
| | -712.47666 | 23.6787 | | 122.707 |

Tabelle 3

| | | | | |
|------|-------------|---------|------|---------|
| L324 | -250.00950 | 10.0000 | SIO2 | 121.877 |
| | -513.10270 | 14.8392 | | 121.995 |
| L325 | -344.63359 | 20.3738 | SIO2 | 121.081 |
| | -239.53067 | .7500 | | 121.530 |
| L326 | 146.13385 | 34.7977 | SIO2 | 102.544 |
| | 399.32557 | .7510 | | 99.992 |
| L327 | 132.97289 | 29.7786 | SIO2 | 87.699 |
| | 294.53397 | 18.8659 | | 82.024 |
| L328 | -3521.27938 | 11.4951 | SiO2 | 75.848 |
| | 287.11066 | .7814 | | 65.798 |
| L329 | 103.24604 | 27.8602 | SIO2 | 58.287 |
| | 41.64286 | 1.9089 | | 36.734 |
| L330 | 41.28081 | 31.0202 | SIO2 | 36.281 |
| | 279.03201 | 1.9528 | | 28.934 |
| | UNENDL | 12.0000 | | 28.382 |
| | UNENDL | | | 13.803 |

Asphärische Konstanten:

Koeffizienten der asphärischen Oberfläche 29:

$$\begin{aligned}
 EX &= -0,16784093 \cdot 10^3 \\
 C\ 1 &= 0,49600479 \cdot 10^{-9} \\
 C\ 2 &= 0,31354487 \cdot 10^{-11} \\
 C\ 3 &= -0,65827200 \cdot 10^{-15} \\
 C\ 4 &= 0,44673095 \cdot 10^{-19} \\
 C\ 5 &= -0,73057048 \cdot 10^{-23} \\
 C\ 6 &= 0,91524489 \cdot 10^{-27}
 \end{aligned}$$

Koeffizienten der asphärischen Oberfläche 27:

$$\begin{aligned}
 EX &= -0,22247325 \cdot 10^1 \\
 C\ 1 &= 0,24479896 \cdot 10^{-7} \\
 C\ 2 &= -0,22713172 \cdot 10^{-11} \\
 C\ 3 &= 0,36324126 \cdot 10^{-15} \\
 C\ 4 &= -0,17823969 \cdot 10^{-19} \\
 C\ 5 &= 0,26799048 \cdot 10^{-23} \\
 C\ 6 &= -0,27403392 \cdot 10^{-27}
 \end{aligned}$$

Koeffizienten der asphärischen Oberfläche 31:

$$\begin{aligned}
 EX &= 0 \\
 C\ 1 &= -0,45136584 \cdot 10^{-9} \\
 C\ 2 &= 0,34745936 \cdot 10^{-12} \\
 C\ 3 &= 0,11805250 \cdot 10^{-17} \\
 C\ 4 &= -0,87762405 \cdot 10^{-21}
 \end{aligned}$$

Tabelle 4

| No. | r (mm) | d (mm) | Glas |
|-----|-----------|--------|-----------|
| 0b | | 36,005 | |
| 601 | -1823,618 | 15,518 | Quarzglas |
| | -214,169 | 10,000 | |
| 602 | -134,291 | 7,959 | Quarzglas |
| | 328,009 | 6,376 | |
| 603 | 783,388 | 26,523 | Quarzglas |
| | -163,805 | ,600 | |
| 604 | 325,109 | 20,797 | Quarzglas |
| | -499,168 | 1,554 | |
| 605 | 224,560 | 24,840 | Quarzglas |
| | -403,777 | ,600 | |
| 606 | 142,336 | 9,000 | Quarzglas |
| | 86,765 | 23,991 | |
| 607 | 6387,721 | 7,700 | Quarzglas |
| | 148,713 | 21,860 | |
| 608 | -185,678 | 8,702 | Quarzglas |
| | 237,204 | 30,008 | |
| 609 | -104,297 | 9,327 | Quarzglas |
| | -1975,424 | 12,221 | |
| 610 | -247,819 | 17,715 | Quarzglas |
| | -152,409 | ,605 | |
| 611 | 1278,476 | 40,457 | Quarzglas |
| | -163,350 | ,778 | |
| 612 | 697,475 | 28,012 | Quarzglas |
| | -346,153 | 2,152 | |
| 613 | 232,015 | 28,068 | Quarzglas |
| | -3080,194 | 2,606 | |

| | | | |
|-----|-----------|--------|-----------|
| 614 | 219,153 | 21,134 | Quarzglas |
| | 434,184 | 9,007 | |
| 615 | 155,091 | 13,742 | Quarzglas |
| | 103,553 | 34,406 | |
| 616 | -207,801 | 8,900 | Quarzglas |
| | 131,833 | 35,789 | |
| 617 | -118,245 | 9,299 | Quarzglas |
| | 1262,191 | 27,280 | |
| 618 | -121,674 | 42,860 | Quarzglas |
| | -151,749 | ,825 | |
| 619 | -366,282 | 20,128 | Quarzglas |
| | -236,249 | ,838 | |
| 620 | 2355,228 | 31,331 | Quarzglas |
| | -296,219 | 2,500 | |
| P61 | ∞ | 6,000 | Quarzglas |
| | ∞ | 12,554 | |
| AS | | | |
| 621 | 774,283 | 29,041 | Quarzglas |
| | -782,899 | ,671 | |
| 622 | 456,969 | 28,257 | Quarzglas |
| | -1483,609 | ,603 | |
| 623 | 227,145 | 30,951 | Quarzglas |
| | 658,547 | 36,122 | |
| 624 | -271,535 | 15,659 | Quarzglas |
| | -997,381 | 4,388 | |
| 625 | -1479,857 | 27,590 | Quarzglas |
| | -288,684 | ,604 | |
| 626 | 259,988 | 22,958 | Quarzglas |
| | 1614,379 | ,600 | |
| 627 | 105,026 | 29,360 | Quarzglas |
| | 205,658 | ,600 | |
| 628 | 110,916 | 16,573 | Quarzglas |

WO 00/33138

PCT/EP99/09235

| | | | |
|-----|---------|--------|-----------|
| | 139,712 | 13,012 | |
| 629 | 499,538 | 8,300 | Quarzglas |
| | 56,675 | 9,260 | |
| 630 | 75,908 | 17,815 | Quarzglas |
| | 51,831 | ,995 | |
| 631 | 43,727 | 19,096 | Quarzglas |
| | 499,293 | 2,954 | |
| P62 | ∞ | 2,000 | Quarzglas |
| | ∞ | 12,000 | |
| Im | | | |

Patentansprüche:

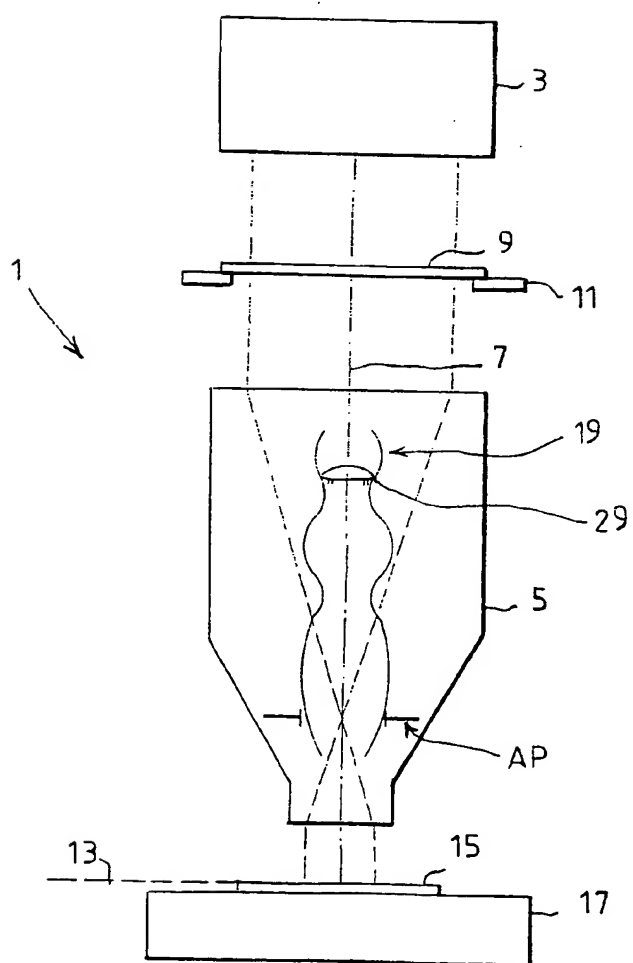
1. Projektionsobjektiv der Mikrolithographie, bei dem die Systemblende im Bereich des bildseitig letzten Bauches angeordnet ist, das eine bildseitige numerische Apertur NA von über 0,65 aufweist und einen Bildfelddurchmesser von über 20mm, dadurch gekennzeichnet, daß die Pupillenebene über den Lichtbündelquerschnitt maximal um 20 mm, vorzugsweise um unter 15 mm, durchgebogen ist.
2. Projektionsobjektiv der Mikrolithographie, bei dem die Systemblende im Bereich des bildseitig letzten Bauches angeordnet ist, das eine bildseitige numerische Apertur NA von über 0,65 aufweist und einen Bildfelddurchmesser von über 20mm, dadurch gekennzeichnet, daß das Objektiv bei Abblendung bis auf das 0,8 fache seiner bildseitigen numerischen Apertur eine Telezentriabweichung von unter ± 4 mrad, vorzugsweise unter ± 3 mrad, des geometrischen Schwerstrahls aufweist.
3. Projektionsobjektiv der Mikrolithographie, bei dem die Systemblende im Bereich des bildseitig letzten Bauches angeordnet ist, das eine bildseitige numerische Apertur NA von über 0,65 aufweist und einen Bildfelddurchmesser von über 20mm, dadurch gekennzeichnet, daß die tangentielle Bildschale der Pupillenabbildung im Blendenraum auf unter 20 mm, vorzugsweise auf unter 15 mm korrigiert ist.
4. Projektionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Negativlinse, die im Strahlengang auf die Pupillenebene folgt, ein pupillenseitig konkaver Meniskus ist.

5. Projektionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß an jeder Taille eine Linsengruppe negativer Brechkraft, an jedem Bauch eine Linsengruppe positiver Brechkraft angeordnet ist, und daß mindesten zwei, vorzugsweise mindestens drei, positive Linsen der Linsengruppe des dritten Bauchs vor der Pupillenebene angeordnet sind.
6. Projektionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich des dritten Bauchs vor der Pupillenebene mindestens ein sphärisch überkorrigierender Luftraum zwischen benachbarten Linsen angeordnet ist.
7. Projektionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß eine Linse mit einer asphärischen Oberfläche vor der ersten Taille angeordnet ist.
8. Projektionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Taille nur mit sphärischen Linsen aufgebaut ist.
9. Projektionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß Quarzglas und Fluoridkristalle, insbesondere CaF_2 , BaF_2 , SrF_2 , LiF einzeln oder in Kombination als Linsenwerkstoff eingesetzt sind.
10. Projektionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Taillen und drei Bäuche ausgebildet sind.
11. Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie, dadurch gekennzeichnet, daß sie ein Projektionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 10 enthält.
12. Verfahren zur Herstellung mikrostrukturierter Bauteile, bei dem ein mit einer lichtempfindlichen Schicht versehenes Substrat mittels einer Maske und einer Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 11 durch ultraviolettes Licht belichtet wird und gegebenenfalls nach Entwik-

kein der lichtempfindlichen Schicht entsprechend einem auf der Maske enthaltenen Muster strukturiert wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12 mit mehreren Belichtungen mit verschiedenen Beleuchtungsarten und / oder numerischen Aperturen.

FIG. 1



2 / 11

FIG. 2

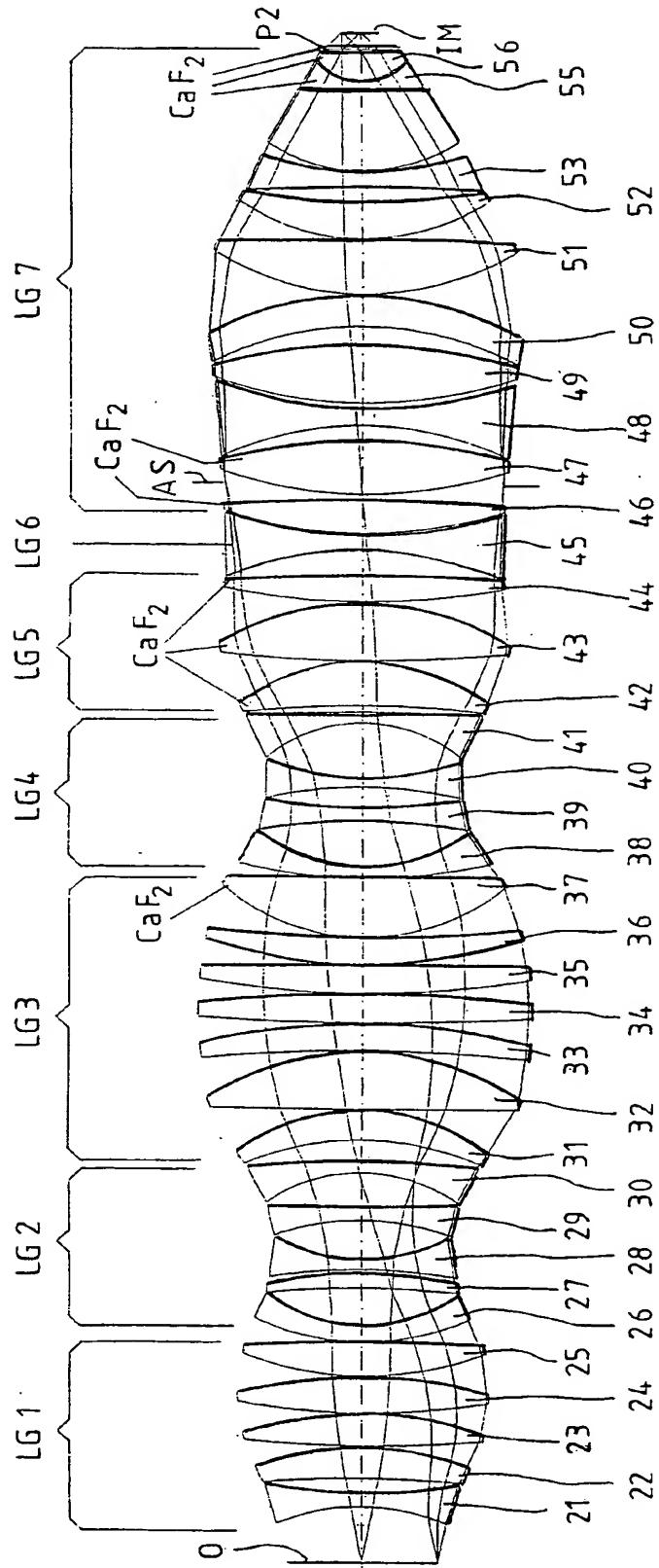


FIG. 3

3/11

19

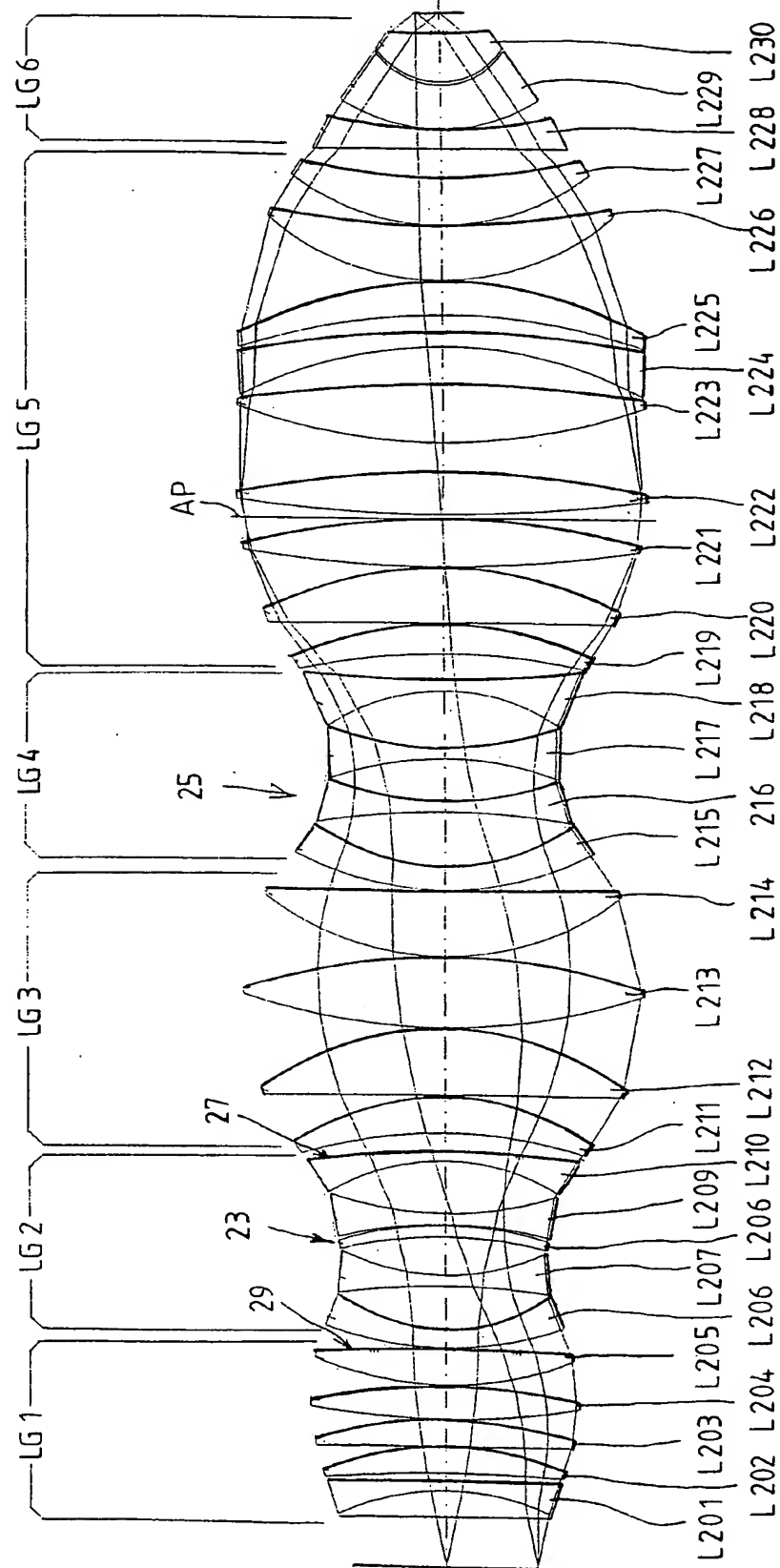
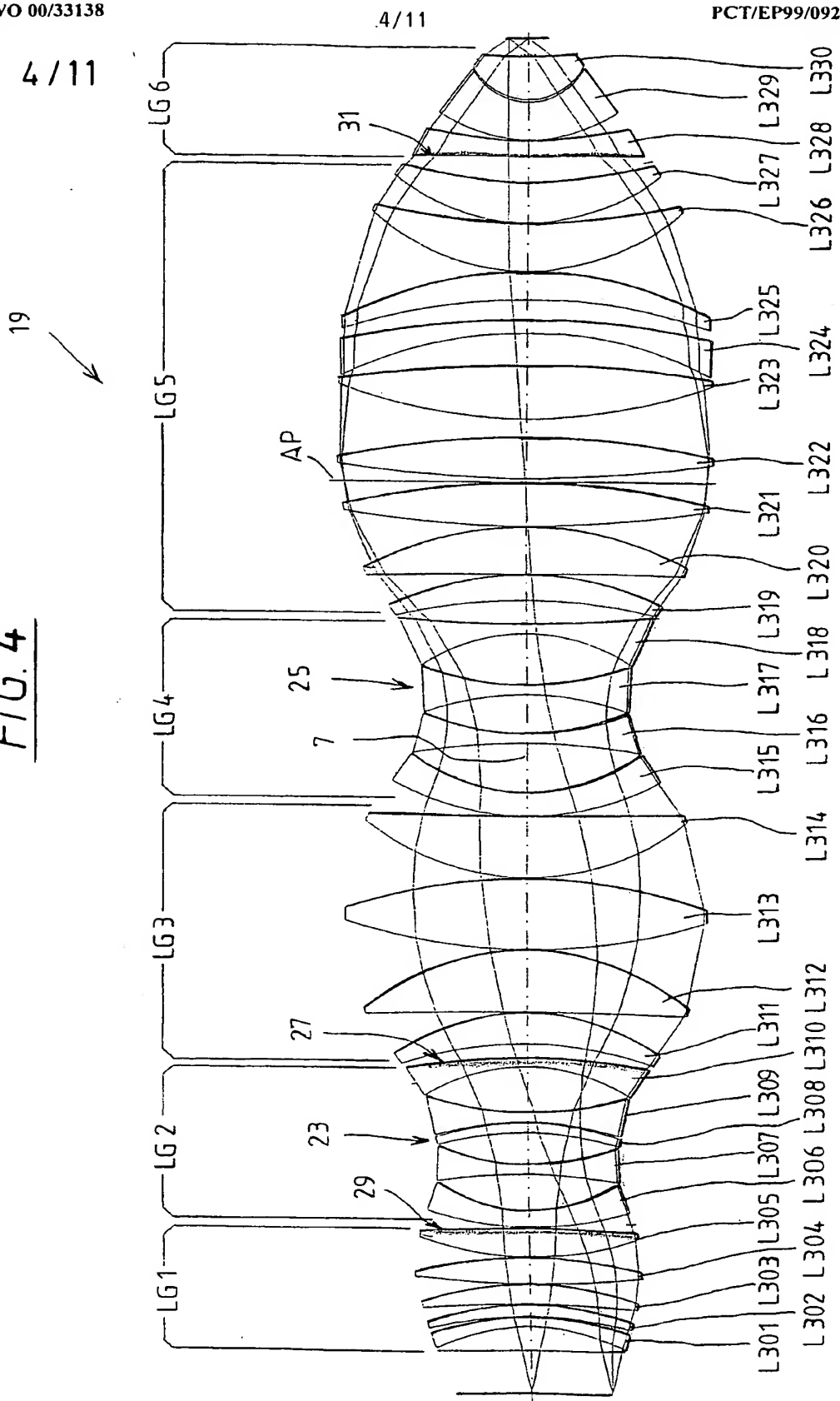
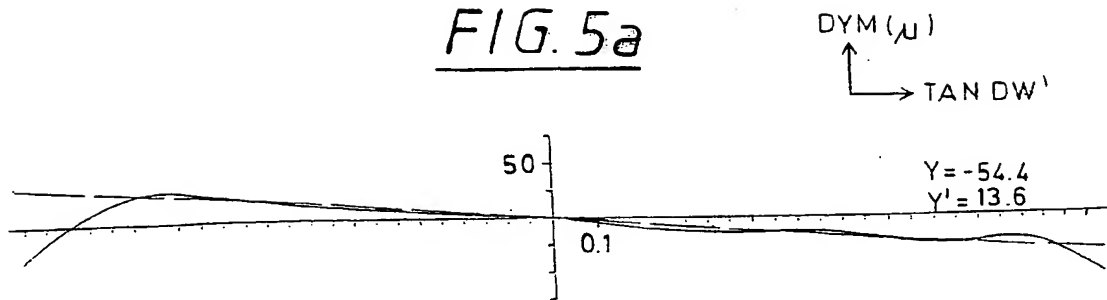
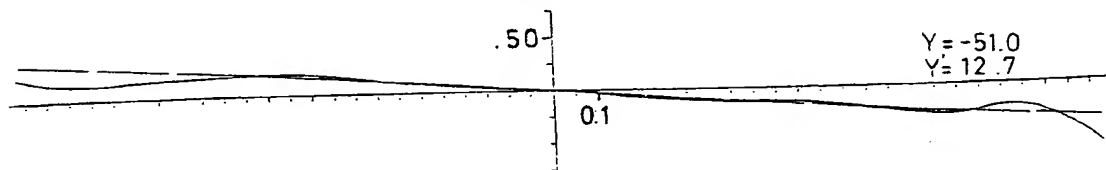
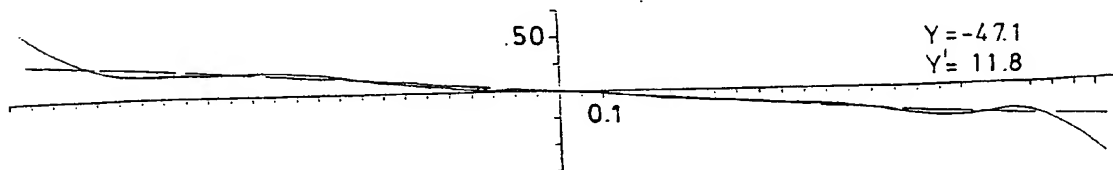


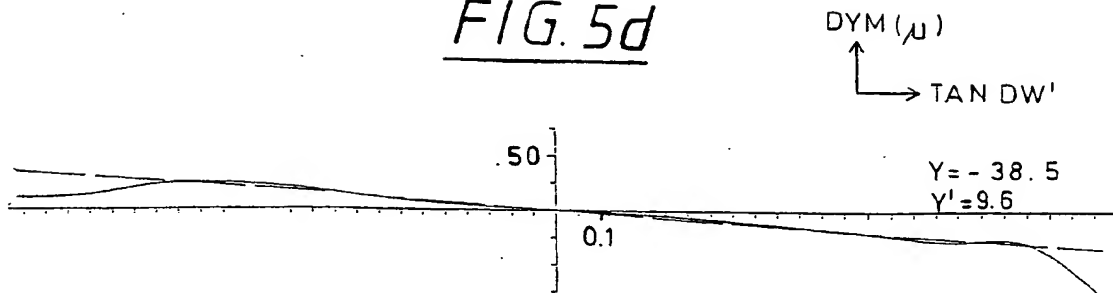
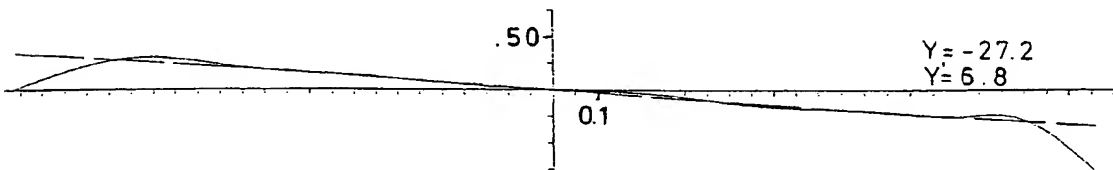
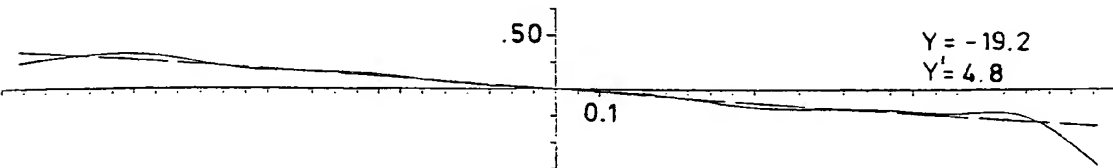
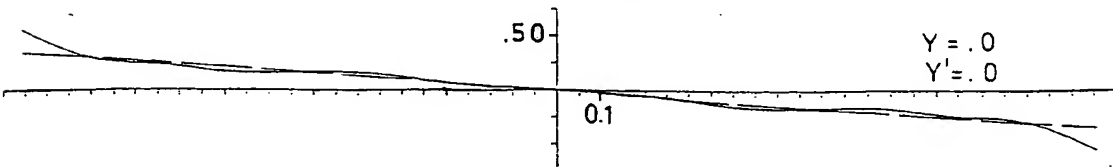
FIG. 4



5/11

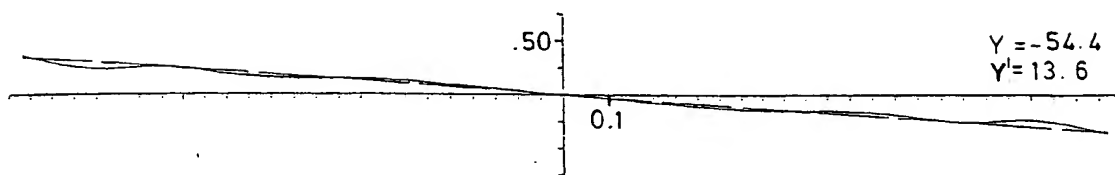
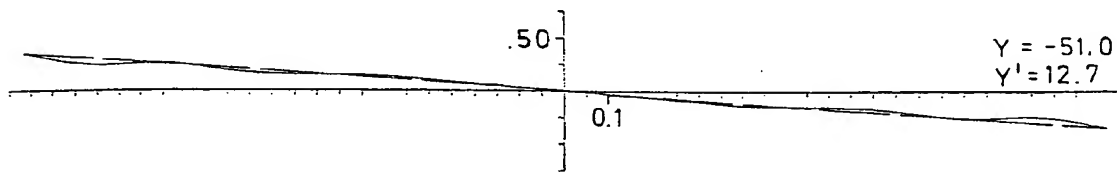
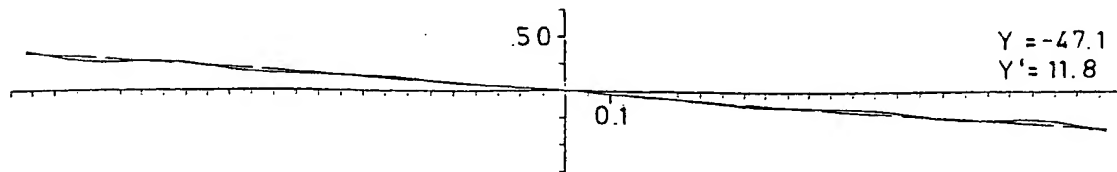
FIG. 5aFIG. 5bFIG. 5c

6/11

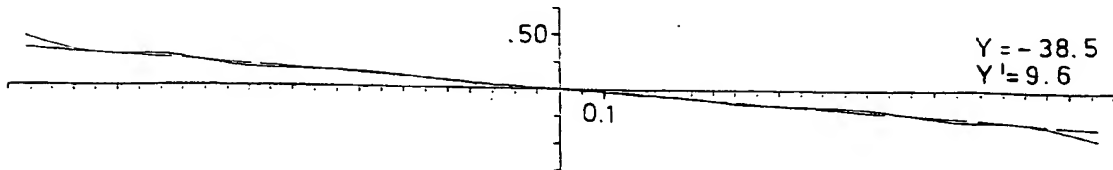
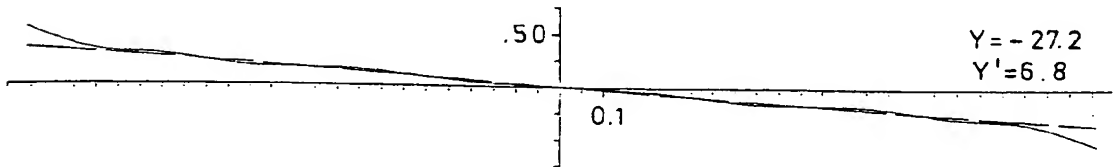
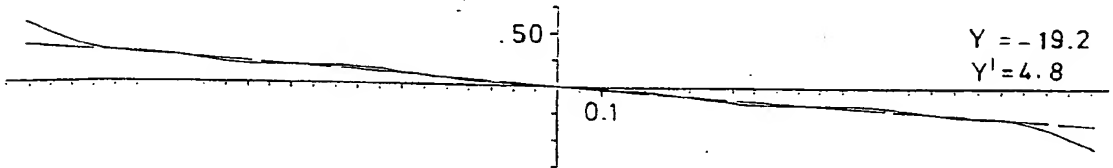
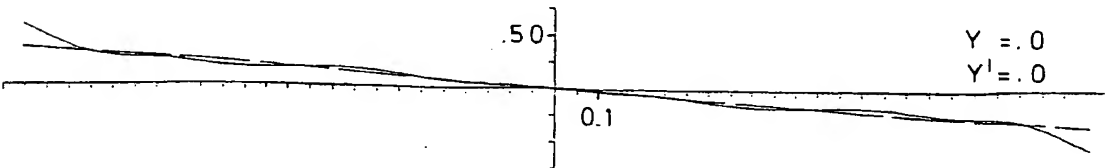
FIG. 5dFIG. 5eFIG. 5fFIG. 5g

7/11

DZS (μ)
↑
→ TAN DW'

FIG. 6aFIG. 6bFIG. 6c

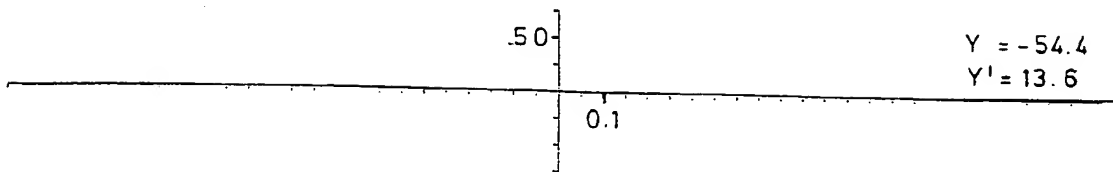
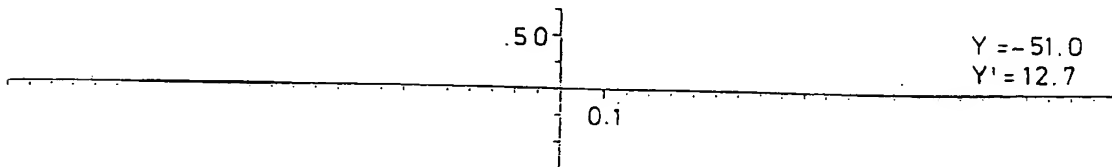
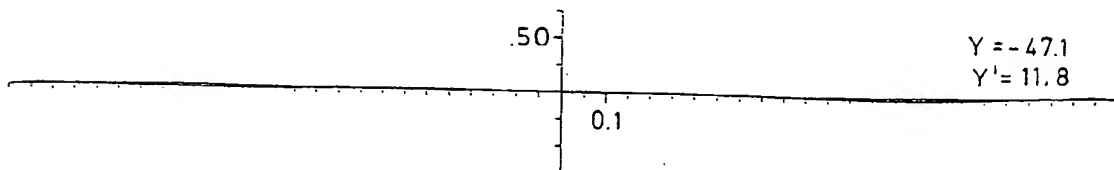
DZS (μ)
↑
→ TAN DW'

FIG. 6dFIG. 6eFIG. 6fFIG. 6g

9/11

FIG. 7a

DYS (μ)
↑
→ TAN DW'

FIG. 7bFIG. 7c

10/11

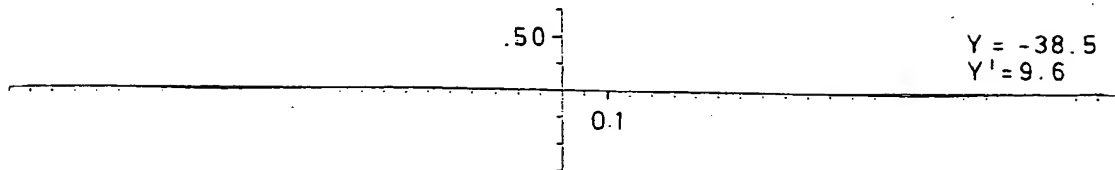
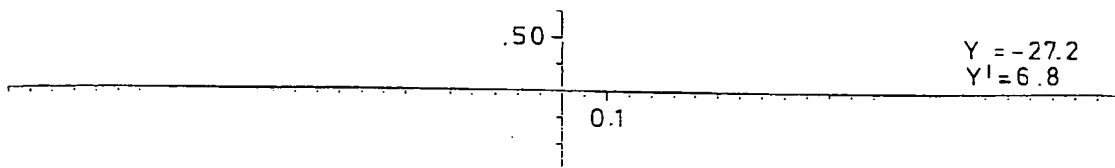
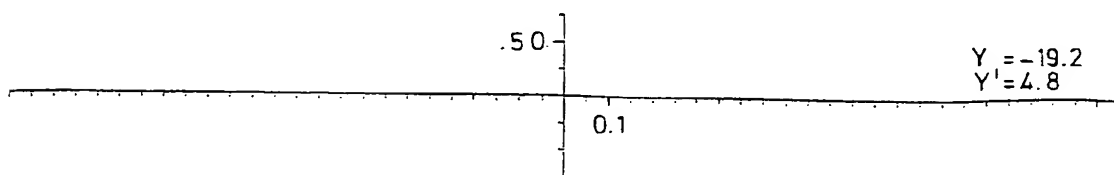
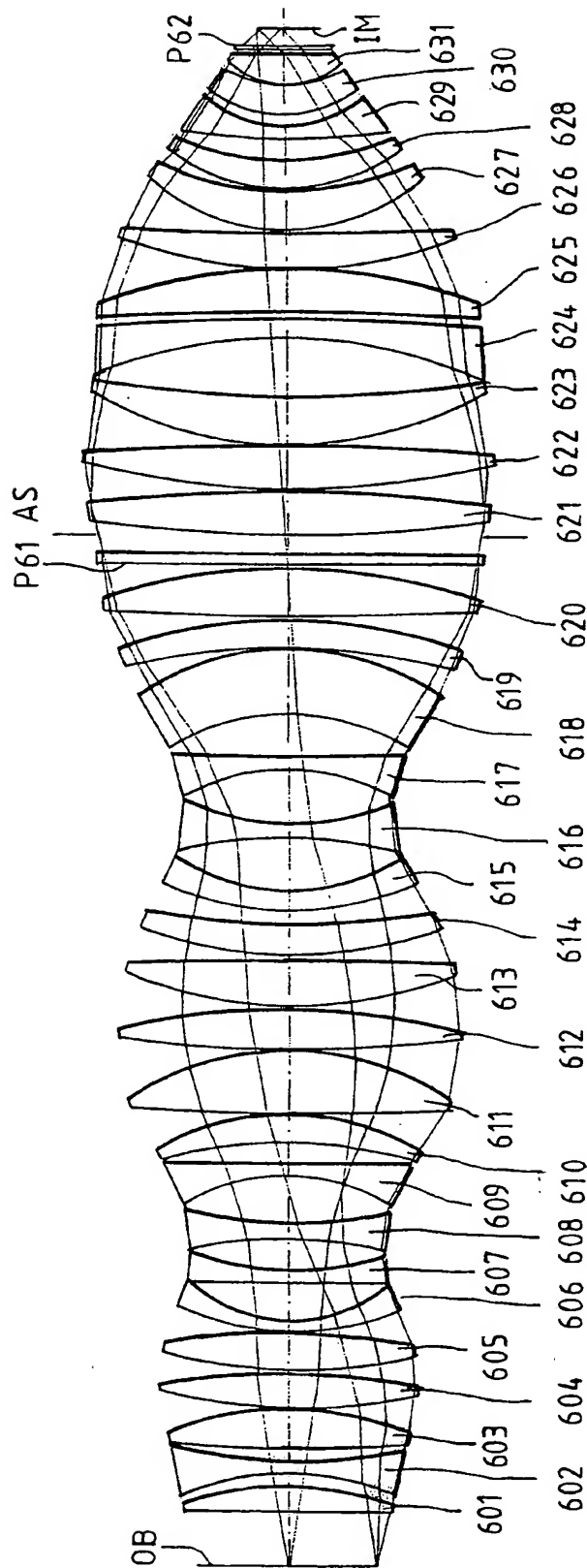
FIG. 7dFIG. 7eFIG. 7f

FIG. 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 99/09235

| | | |
|---|--|-----------------------|
| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G03F7/20 G02B13/14 G02B13/18 G02B13/22 | | |
| According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC | | |
| B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G03F G02B | | |
| Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched | | |
| Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) | | |
| C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| X | DE 198 18 444 A (NIPPON KOGAKU KK) 29 October 1998 (1998-10-29) cited in the application | 1-8, 10-12 |
| Y | page 2, line 3 - line 10 page 2, line 20 - line 44 page 3, line 24 - page 4, line 18; figures 1-19; examples 1-9 | 9, 13 |
| Y | EP 0 783 137 A (ZEISS CARL) 9 July 1997 (1997-07-09) | 13 |
| A | page 2, line 3 - line 7 page 2, line 25 - line 29 page 3, line 18 - line 22 page 3, line 59 - page 4, line 5 page 5, line 1 - line 11 abstract; figures 1, 2 --- -/-- | 1-3, 11, 12 |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex. </div> | | |
| * Special categories of cited documents : | | |
| <div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>*E* earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>*L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>*O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>*P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p>*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>*X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>*Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>*G* document member of the same patent family</p> </div> </div> | | |
| Date of the actual completion of the international search | Date of mailing of the international search report | |
| 30 March 2000 | 14/04/2000 | |
| Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016 | Authorized officer Narganes-Quijano, F | |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 99/09235

| C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
|--|---|-----------------------|
| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| Y | US 5 469 299 A (NAGANO CHIKARA) 21 November 1995 (1995-11-21) | 9 |
| A | column 2, line 2 - line 67 column 3, line 38 - line 45; examples 1-6 ---- | 1-3 |
| A | DE 196 53 983 A (ZEISS CARL FA) 25 June 1998 (1998-06-25) page 2, line 3 - line 8 page 2, line 60 -page 3, line 61; claims 5,11,15,16; figures 1,2,5 ---- | 1-3,7,9, 11,12 |
| A | EP 0 803 755 A (NIPPON KOGAKU KK) 29 October 1997 (1997-10-29) page 2, line 7 -page 6, line 55 page 9, line 36 - line 38 page 21, line 45 - line 47 page 22, line 15 - line 18; figures 1-6 ---- | 1-6,8-12 |
| A | DE 197 43 236 A (NIPPON KOGAKU KK) 2 April 1998 (1998-04-02) abstract page 10, line 38 -page 12, line 26; figures 4,6 ---- | 1-6,8, 10-12 |
| A | EP 0 828 171 A (NIPPON KOGAKU KK) 11 March 1998 (1998-03-11) page 6, line 30 - line 34; figures 11,14; tables 1-3 ---- | 2,4,8-10 |
| A | US 5 805 344 A (SUENAGA YUTAKA ET AL) 8 September 1998 (1998-09-08) column 1, line 49 -column 2, line 24 column 4, line 33 -column 10, line 30 column 19, line 10 - line 17 column 22, line 37 -column 23, line 19 column 29, line 24 - line 40; figures 9-14 ---- | 2,4,9 |
| A | US 5 448 408 A (TOGINO TAKAYOSHI ET AL) 5 September 1995 (1995-09-05) column 3, line 11 - line 21 column 4, line 28 - line 41 ---- | 1-3 |
| A | BRUNING J H: "Optical Lithography - Thirty years and three orders of magnitude" PROC. SPIE - INT. SOC. OPT. ENG., vol. 3049, 1997, pages 14-27, XP000882444 USA cited in the application page 16, line 12 - line 21 page 23, line 1 -page 24, line 25 ----- | 1-3 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 99/09235

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---------------------|---|--|
| DE 19818444 A | 29-10-1998 | JP 11006957 A US 6008884 A | 12-01-1999 28-12-1999 |
| EP 0783137 A | 09-07-1997 | DE 19548805 A JP 9197270 A US 5982558 A | 03-07-1997 31-07-1997 09-11-1999 |
| US 5469299 A | 21-11-1995 | JP 4230718 A | 19-08-1992 |
| DE 19653983 A | 25-06-1998 | WO 9828644 A EP 0888570 A | 02-07-1998 07-01-1999 |
| EP 0803755 A | 29-10-1997 | JP 9292568 A US 5781278 A | 11-11-1997 14-07-1998 |
| DE 19743236 A | 02-04-1998 | US 5852490 A JP 10172904 A US 5920379 A | 22-12-1998 26-06-1998 06-07-1999 |
| EP 0828171 A | 11-03-1998 | JP 10048517 A US 5956182 A | 20-02-1998 21-09-1999 |
| US 5805344 A | 08-09-1998 | EP 0712019 A JP 8179204 A | 15-05-1996 12-07-1996 |
| US 5448408 A | 05-09-1995 | JP 4157412 A US 5260832 A | 29-05-1992 09-11-1993 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/09235

| | | |
|---|--|--|
| A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES IPK 7 G03F7/20 G02B13/14 G02B13/18 G02B13/22 | | |
| Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK | | |
| B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 7 G03F G02B | | |
| Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen | | |
| Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) | | |
| C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN | | |
| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
| X | DE 198 18 444 A (NIPPON KOGAKU KK) 29. Oktober 1998 (1998-10-29) in der Anmeldung erwähnt | 1-8, 10-12 |
| Y | Seite 2, Zeile 3 - Zeile 10 Seite 2, Zeile 20 - Zeile 44 Seite 3, Zeile 24 - Seite 4, Zeile 18; Abbildungen 1-19; Beispiele 1-9 | 9,13 |
| Y | EP 0 783 137 A (ZEISS CARL) 9. Juli 1997 (1997-07-09) | 13 |
| A | Seite 2, Zeile 3 - Zeile 7 Seite 2, Zeile 25 - Zeile 29 Seite 3, Zeile 18 - Zeile 22 Seite 3, Zeile 59 - Seite 4, Zeile 5 Seite 5, Zeile 1 - Zeile 11 Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 --- | 1-3,11, 12 |
| -/- | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie | | |
| * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist | | |
| Datum des Abschlusses der internationalen Recherche | | Absenddatum des internationalen Recherchenberichts |
| 30. März 2000 | | 14/04/2000 |
| Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016 | | Bevollmächtigter Bediensteter Narganes-Quijano, F |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/09235

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|--|--------------------|
| Y | US 5 469 299 A (NAGANO CHIKARA) 21. November 1995 (1995-11-21) | 9 |
| A | Spalte 2, Zeile 2 - Zeile 67 Spalte 3, Zeile 38 - Zeile 45; Beispiele 1-6 | 1-3 |
| A | DE 196 53 983 A (ZEISS CARL FA) 25. Juni 1998 (1998-06-25) Seite 2, Zeile 3 - Zeile 8 Seite 2, Zeile 60 - Seite 3, Zeile 61; Ansprüche 5,11,15,16; Abbildungen 1,2,5 | 1-3,7,9, 11,12 |
| A | EP 0 803 755 A (NIPPON KOGAKU KK) 29. Oktober 1997 (1997-10-29) Seite 2, Zeile 7 - Seite 6, Zeile 55 Seite 9, Zeile 36 - Zeile 38 Seite 21, Zeile 45 - Zeile 47 Seite 22, Zeile 15 - Zeile 18; Abbildungen 1-6 | 1-6,8-12 |
| A | DE 197 43 236 A (NIPPON KOGAKU KK) 2. April 1998 (1998-04-02) Zusammenfassung Seite 10, Zeile 38 - Seite 12, Zeile 26; Abbildungen 4,6 | 1-6,8, 10-12 |
| A | EP 0 828 171 A (NIPPON KOGAKU KK) 11. März 1998 (1998-03-11) Seite 6, Zeile 30 - Zeile 34; Abbildungen 11,14; Tabellen 1-3 | 2,4,8-10 |
| A | US 5 805 344 A (SUENAGA YUTAKA ET AL) 8. September 1998 (1998-09-08) Spalte 1, Zeile 49 - Spalte 2, Zeile 24 Spalte 4, Zeile 33 - Spalte 10, Zeile 30 Spalte 19, Zeile 10 - Zeile 17 Spalte 22, Zeile 37 - Spalte 23, Zeile 19 Spalte 29, Zeile 24 - Zeile 40; Abbildungen 9-14 | 2,4,9 |
| A | US 5 448 408 A (TOGINO TAKAYOSHI ET AL) 5. September 1995 (1995-09-05) Spalte 3, Zeile 11 - Zeile 21 Spalte 4, Zeile 28 - Zeile 41 | 1-3 |
| A | BRUNING J H: "Optical Lithography - Thirty years and three orders of magnitude" PROC. SPIE - INT. SOC. OPT. ENG., Bd. 3049, 1997, Seiten 14-27, XP000882444 USA in der Anmeldung erwähnt Seite 16, Zeile 12 - Zeile 21 Seite 23, Zeile 1 - Seite 24, Zeile 25 | 1-3 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/09235

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|--|-------------------------------|---|--|
| DE 19818444 A | 29-10-1998 | JP 11006957 A US 6008884 A | 12-01-1999 28-12-1999 |
| EP 0783137 A | 09-07-1997 | DE 19548805 A JP 9197270 A US 5982558 A | 03-07-1997 31-07-1997 09-11-1999 |
| US 5469299 A | 21-11-1995 | JP 4230718 A | 19-08-1992 |
| DE 19653983 A | 25-06-1998 | WO 9828644 A EP 0888570 A | 02-07-1998 07-01-1999 |
| EP 0803755 A | 29-10-1997 | JP 9292568 A US 5781278 A | 11-11-1997 14-07-1998 |
| DE 19743236 A | 02-04-1998 | US 5852490 A JP 10172904 A US 5920379 A | 22-12-1998 26-06-1998 06-07-1999 |
| EP 0828171 A | 11-03-1998 | JP 10048517 A US 5956182 A | 20-02-1998 21-09-1999 |
| US 5805344 A | 08-09-1998 | EP 0712019 A JP 8179204 A | 15-05-1996 12-07-1996 |
| US 5448408 A | 05-09-1995 | JP 4157412 A US 5260832 A | 29-05-1992 09-11-1993 |